

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ НА АБРАЗИВНИЙ ЗНОС ПАР ТЕРТЯ «ШТОК-УЩІЛЬНЕННЯ» ГІДРАВЛІЧНИХ НАСОСІВ НАФТОГАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ

І.Б. Прунько

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727148,  
e-mail: trans@nung.edu.ua

У роботі розглянуто питання модельних експресних випробовувань на зношування зразків при зворотньо-поступальному русі на універсальній машині тертя. Запропоновано оригінальну конструкцію та спосіб виготовлення одного з контртіл, що дозволяє найбільш точно імітувати реальні умови роботи пари «шток-ущільнення» при попаданні під ущільнення абразивних зерен і наступного проникнення і закріплення останніх в гумі манжети. Лінійна інтенсивність зношування визначалась через масовий знос, який, в свою чергу, визначався зважуванням рухомого зразка. З метою отримання додаткової інформації (температура в зоні контакту) в нерухомий зразок встановлювалась хромель-копелева термопара, сигнал від якої фіксувався самописцем на блоці керування машини тертя. Запропонована схема досліджень дозволить оптимізувати вибір способів зміцнення поверхонь штоків насосів та інших деталей нафтогазового обладнання.

Ключові слова: камера тертя, нерухомий зразок, рухомий зразок, шток, ущільнення, абразивний знос.

В работе рассмотрены вопросы модельных экспрессных испытаний на износ образцов при возвратно-поступательном движении на универсальной машине трения. Предложена оригинальная конструкция и способ изготовления одного из контртел, что позволяет наиболее точно имитировать реальные условия работы пары «шток-уплотнение» при попадании под уплотнение абразивных зерен и последующего проникновения и закрепления последних в резине манжеты. Линейная интенсивность изнашивания определялась через массовый износ, который, в свою очередь, определялся взвешиванием подвижного образца. С целью получения дополнительной информации (температура в зоне контакта) в неподвижный образец устанавливалась хромель-копелевая термопара, сигнал от которой фиксировался самописцем на блоке управления машины трения. Предложенная схема исследований позволит оптимизировать выбор способов укрепления поверхностей штоков насосов и других деталей нефтегазового оборудования.

Ключевые слова: камера трения, неподвижный образец, движущийся образец, шток, уплотнение, абразивный износ.

The article deals with the issue of rapid model wear tests at the reciprocating motion of the universal friction machine. Original design and manufacturing method of one of the counterbodies were developed. This allows the most accurate simulating of real operating conditions of the "rod-seal" pair when abrasive grains get under the seal and then penetrate and become permanent in the cuff rubber. The linear wear intensity was determined with the help of massive wear, which, in its turn, was determined by the moving sample weighing. In order to obtain more information (temperature in the contact zone) the chromel-copel thermocouple was installed into the fixed sample. Its signal was recorded by the friction machine control unit. The Developed scheme will optimize the choice of methods to strengthen surfaces of pump rods and other components of oil and gas equipment.

Key words: friction camera, fixed sample, moving sample, rod, seal, abrasive wear

### Вступ

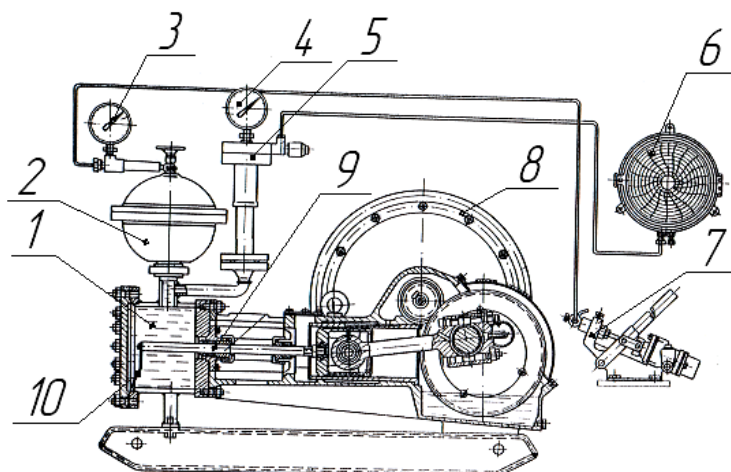
Об'єктом досліджень є пара тертя «шток – ущільнення» нафтогазопромислових насосів високого тиску. Опір абразивному зносу [1] обумовлюється певним комплексом механічних, фізичних і хімічних властивостей контактуючих поверхонь, особливо їх поверхневою твердістю. Тому боротьба з абразивним зношуванням ведеться, як правило, технологічними засобами. До таких засобів відносяться застосування спеціальних сталей, відповідних методів хімічної, термічної, хіміко-термічної та інших видів зміцнюючої обробки поверхонь тертя, а також спроби застосування зносостійких гальванічних та інших покриттів [2].

Труднощі полягають у виборі найбільш оптимального способу зміцнення однієї з поверхонь тертя, який би максимально відповідав умовам роботи заданих деталей, а саме штоків насосів високого тиску, які перекачують або

нагнітають в нафтогазові пласти хімічноактивні і абразивнонаповнені речовини [2]. Вибір оптимального способу зміцнення поверхонь може бути здійснений після експресних досліджень абразивної зносостійкості поверхонь тертя зміцнених різними методами.

### Аналіз конструкції і принципів роботи існуючих стендів

У науково-технічній інформації [2] питання відтворення основного виду абразивного зношування і визначення відносної зносостійкості поверхонь штоків насосів високого тиску розглядається недостатньо. Необхідно відзначити оригінальну установку (стенд) для експериментальних досліджень на абразивний знос зміцнених поверхонь штоків бурових насосів [2]. Стенд складається з камери 1, приводної частини 8 і змінного вузла штоків 9 (рис.1). В якості приводу стенду використовується приві-



1 – камера; 2 – повітряний ковпак; 3, 4 – манометри; 5 – клапан; 6 – самописець;  
7 – ручний насос; 8 – привідна частина; 9 – змінний вузол штоків; 10 – скребки  
**Рисунок 1 – Стенд для випробовування штоків насосів високого тиску**

дна частина насоса НГР 250/50. Одночасно піддаються випробуванню два штоки, один з яких є еталонним (серійним). В камеру 1 заливають глинистий розчин з додаванням абразиву. Для підтримання абразиву в завислому стані до штоків кріпляться спеціальні скребки. Тиск у випробувальній камері створюється за допомогою ручного насоса 7 марки ГН – 200М через повітряний ковпак 2 типу ВК – 5Б. Тиск робочого розчину фіксується манометрами 3 і 4, регулюється клапаном 5 і записується самописцем 6.

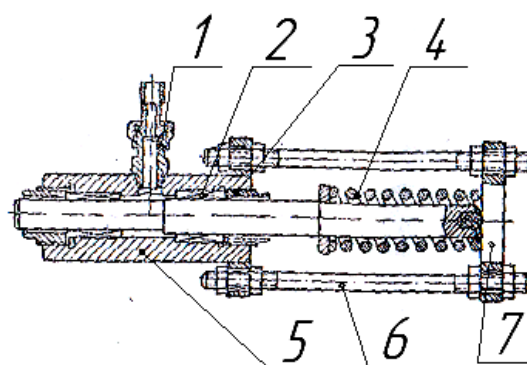
Недоліком даного стенду є його висока складність і собівартість. Хоча даний стенд і дозволяє максимально наблизити умови досліджень до реальних умов роботи штоків насосів високого тиску, він не зовсім придатний для лабораторних експресних досліджень, а скоріше наближається до натурних випробувань.

Варта уваги конструкція стенду-приставки (рис. 2) для випробування зносостійкості ущільнень штоків гідравлічних машин, яка запропонована в [4]. Вона конструктивно значно простіша за вищезгаданий стенд, однак володіє рядом недоліків. Так, зокрема досить важко отримувати задану величину зусилля в місці контакту ущільнення – «шток-манжета».

Загальним недоліком розглянутих стендів є використання в них реальних ущільнень, знос яких тривалий, так як абразив в контакт пари тертя поступає випадково і нерівномірно по площі поверхні тертя.

### Невирішені раніше частини поставленої проблеми

На думку авторів найбільш інтенсивне зношування поверхонь штоків нафтопромислових насосів високого тиску спричиняють абразивні частинки, які проникають під поверхню гумових ущільнень, укорінюються (фіксуються) в ній і виступають в ролі пружнозакріплених абразивних різців в процесі зворотньо-поступального переміщення штока [5]. Відтворити дане явище, зберігши при цьому стабіль-



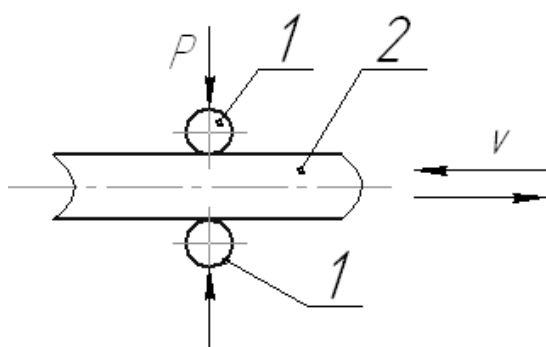
1 – штуцер; 2 – ущільнення; 3 – направляюча; 4 – пружина; 5 – корпус; 6 – шпилька; 7 – основа  
**Рисунок 2 – Стенд-приставка для випробування зносостійкості ущільнень штоків гідромашин**

ність умов експресного дослідження на вищезгаданих [2, 3] стендах неможливо. Необхідна розробка експериментального методу, який дозволить би досліджувати в лабораторних умовах зносостійкість поверхонь штоків при контакті їх з гумовим контрелементом, насиченим абразивом.

### Зразки та установка для дослідження зносостійкості штоків і методика досліджень

Для дослідження зносостійкості поверхонь штоків насосу під ущільнення пропонується використовувати універсальну машину тертя моделі 2168 УМТ – 1 [6], яка дає можливість моделювати процеси зносу пари тертя «шток – ущільнення».

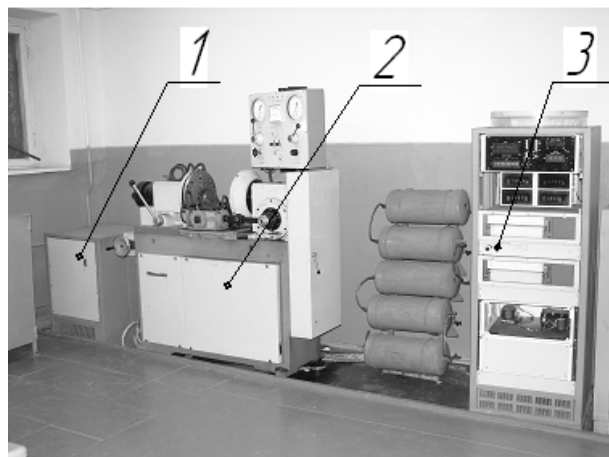
Машина призначена для випробування на тертя і знос за вісьмома схемами випробувань найбільш поширених спряжених пар тертя. З метою моделювання зворотньо-поступального руху для лабораторних випробувань вибрана найбільш подібна схема до роботи натурального ущільнення «стержень – палець» при зворотньо-поступальному русі. Схема випробування зображена на рисунку 3.



1 – нерухомий зразок (модель ущільнення);  
2 – рухомий зразок (модель штоку)

**Рисунок 3 – Схема випробовувань при зворотньо-поступальному русі**

Машина 2168 – УМТ1 (рис. 4) дає змогу випробовувати пари тертя з різним профілем і характером руху в широкому діапазоні швидкостей, навантажень і можливістю подачі в зону тертя мастильних та інших матеріалів, які можуть впливати на триботехнічні параметри спряжених пар тертя.



1 – силовий блок; 2 – машина тертя;  
3 – пульт керування

**Рисунок 4 – загальний вигляд машини тертя 2168 УМТ – 1**

Конструкція установки в звичайному виконанні передбачає випробовування зразків за схемою «диск-палець».

Для проведення випробовувань за різними схемами пар тертя і поверхні спряжень машина тертя комплектується додатковими камерами і пристроями для їх забезпечення [6]. Вибрана схема (рис. 3) випробовувань при зворотньо-поступальному русі реалізується шляхом встановлення додаткового пристрою – камери, яка іде в комплектації машини. Принцип дії полягає в наступному: електродвигун обертає шпіндель, на якому встановлена черв'ячна передача і через вал черв'ячного колеса приводить в рух кривошип 1, який з'єднаний з випробовуваним стержнем за кінематичною схемою зображеною на рис. 5.

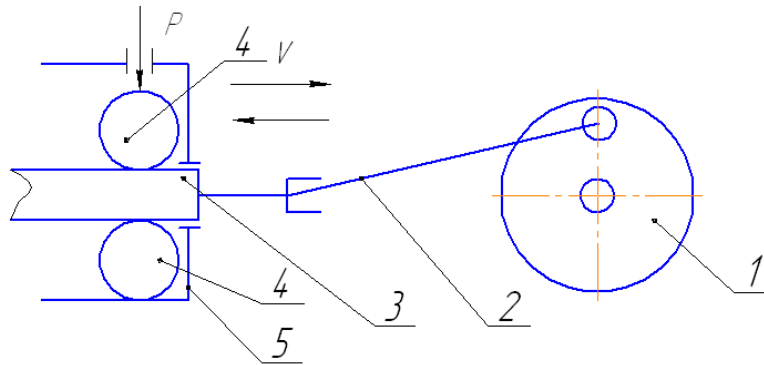
Кривошип 1 приводить в рух шатун 2, який, в свою чергу, з'єднаний з вилкою (вухом) повзуна, на якій закріплений рухомий зразок – стержень 3. До стержня 3 притискують два нерухомі зразки – пальці 4, які розміщені в камері 5.

Камера для випробовувань (рис. 6) складається з розбірного корпусу 1. У підшипниках 2 корпусу рухається повзун 3 зі зразком – стержнем 4, який прикріплений до повзуна гвинтами. Перпендикулярно зразку – стержню встановлено корпус 5 з двома зразками – гумовопіщаними пальцями 6. перед встановленням в корпус на пальцях встановлюється і закріплюються хомути 7 болтами 8. Зразки-пальці притискуються до стержня зусиллям, яке створюється пневматичною камерою 9 через стержні 10 і 11. Повзун переміщається в підшипниках корпусу з допомогою вуха (вилки) 12. Для охолодження підшипників на них встановлюються охолоджувачі, які можуть бути підключені до колектора, що встановлений на станині. Мащення підшипників здійснюється через штуцери 13 і 14, а середовище (рідина), в якому випробовується пара тертя, подається через трубку 15, закріплену на корпусі камери.

На рис. 7 подано фотографію камери зворотньо-поступального руху зі знятою кришкою і встановленими у ній дослідними зразками – стержнем 1 і пальцями 2.

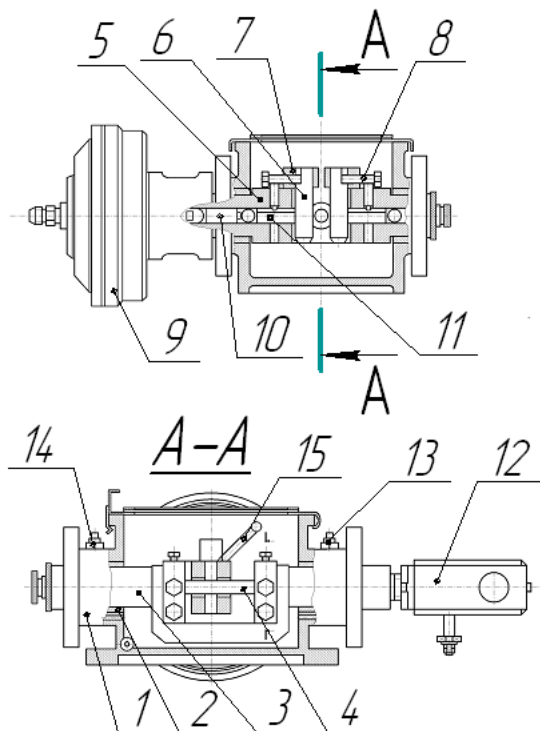
**Таблиця 1 – Технічна характеристика установки 2168 УМТ – 1 [6]**

Назва параметрів і складових (блоків) установки	Величина
Потужність, що споживається, не більше, кВт	16
Габаритні розміри, мм	
силовий блок	600x900x450
машина тертя	760x1750x1900
пульт керування	600x1700x850
Маса, кг	
силовий блок	320
машина тертя	1200
пульт керування	230
Частота обертання шпінделя, хв <sup>-1</sup>	15...3000
Діапазон вимірювання сили навантаження на дослідні зразки, Н	200...500
Діапазон вимірювання моменту тертя, Н·м	20...40
Границя зміни величини ходу рухомого зразка, мм	0...14

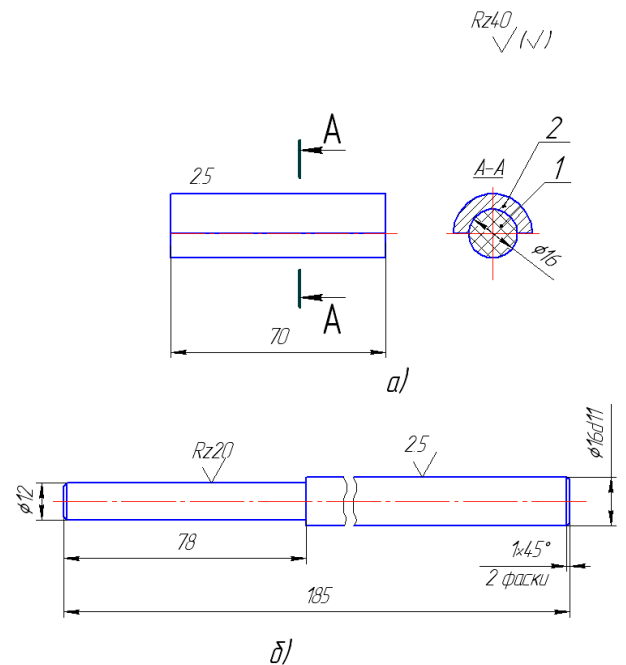


1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – рухомий зразок; 4 – нерухомий зразок; 5 – камера  
**Рисунок 5 – Кінематична схема випробовувань за схемою «стержень-палець»**

Досліджувана пара тертя «стержень-палець» має свої конструктивні особливості. Ескізи досліджуваних зразків подані на рис. 8, а їх фотографії на рис. 9 і рис. 10.

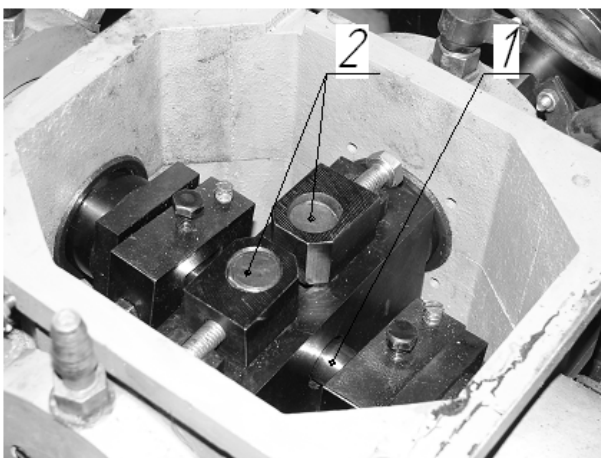


**Рисунок 6 – Ескіз камери для випробування зразків при зворотньо-поступальному русі**



a) – палець; б) – стержень

**Рисунок 8 – Ескізи зразків для випробовувань**



1 – зразок стержень; 2 – зразки пальців

**Рисунок 7 – Камера для випробування зразків при зворотньо-поступальному русі**

Рухомий зразок – стержень (рис. 8 б) виготовляється із матеріалу сталь 40Х. Зразок палець (рис. 9) виготовлений з гуми ІРП – 1124. Оригінальним в цьому зразку є те, що в процесі виготовлення до невулканізованої (сирої) гуми додається сипучий абразивний матеріал – кварцевий пісок, фракції не більше 0,6 мм. Все ретельно перемішується і тільки після цього з отриманої маси формується сам зразок, який піддається вулканізації. З метою рівномірного розподілу зусилля по всій довжині гумового зразка, а також його фіксації останній встановлюється у тримач для зразка у вигляді направляючої 2 (рис. 8 а) у формі урізаної втулки. Тримач для зразка дозволяє періодично переміщувати гумовий зразок в осьовому напрямку і встановлювати контакт металевого зразка з



Рисунок 9 – Стержень

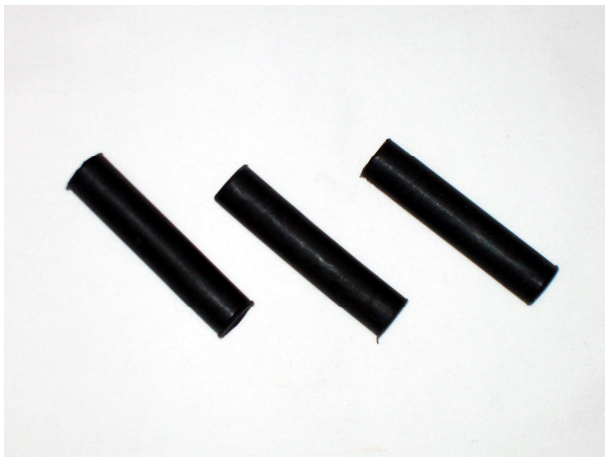


Рисунок 10 – Піщано-гумові пальці

незношеною ділянкою гумового пальця. Така система дозволить найбільш точно відтворити процес зношування поверхні штока насоса високого тиску при контакті його з гумовим ущільненням, в поверхню якого проникли зерна абразиву.

**Методика, режими і обробка результатів лабораторних досліджень**

Як відомо із [2, 4] манжети і робоча поверхня штока поршня працюватиме при високих питомих навантаженнях (тисках) в контакт. Для визначення значень питомого тиску в контакт використовується графік залежності даного тиску від тиску перекачуваної рідини (рис. 11), запропонованим в [4].

Питомі навантаження на зразки будуть створюватися за допомогою пневматичної камери 9 (рис. 6). Дослідження проводять при довжині ходу рухомого зразка  $l_x=12\text{мм}$ , 50 подвійних ходів в хвилину, так, як в процесі руху зразка здійснюється зворотньо-поступальний рух. Тривалість кожного циклу випробувань зразків вибирається в залежності від прогнозованої зносостійкості поверхні тертя. На першому етапі час випробувань становить 60 хв. Шлях тертя визначається за формулою:

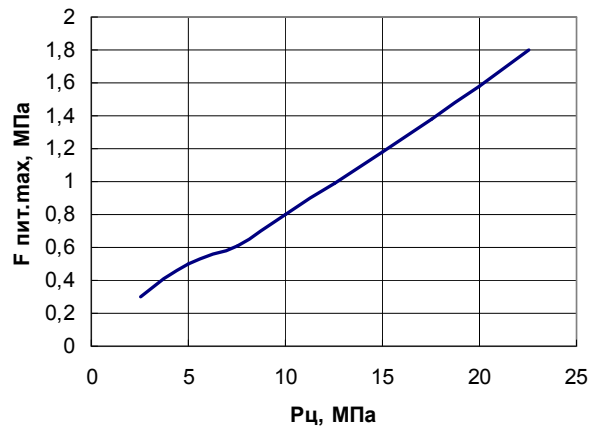


Рисунок 11 – Залежність питомого тиску в ущільненні від тиску перекачуваної рідини

$$L_r = 2n_x \cdot l_x \cdot t_r, \text{ м}, \tag{1}$$

де  $n_x$  – частота подвійних ходів, хід/хв;  
 $l_x$  – довжина ходу, м;  
 $t_r$  – час циклу, хв.

Перед і після кожного циклу досліджень заміряємо діаметр кожного зразка в п'яти точках за допомогою індикаторної головки або оптиметра.

Лінійну величину зносу на сторону визначаємо за формулою:

$$h = \frac{D_{\text{п}} - D_{\text{з}}}{2}, \text{ мм}, \tag{2}$$

де  $h$  – величина зносу на сторону, мм;  
 $D_{\text{п}}$  – початковий діаметр зразка, мм;  
 $D_{\text{к}}$  – діаметр зразка після зносу, мм;  
 Інтенсивність лінійного зносу визначають за формулою:

$$Z_h = \frac{h}{L_r \cdot 10^6}, \tag{3}$$

де  $h$  – лінійна величина зносу, мм;  
 $L_r$  – шлях тертя, м.

Лінійну інтенсивність зношування можна визначити і через масовий знос, який отримують після кожного зважування стержня при замірі лінійних розмірів. З метою отримання додаткової інформації в нерухомий зразок за 1 мм до поверхні тертя встановлюємо хромель-копелеву термопару. Сигнал від термопари подається на блок керування, в якому вмонтований самописець температури.

Обробка експериментальних даних ведеться за методикою статистичної обробки результатів дослідів [7]. Кожна точка є середнім результатом не менше п'яти дослідів на одному режимі. При обробці експериментальних даних досліджень визначають:

а) середнє арифметичне виміряної величини

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \tag{4}$$

де  $n$  – кількість вимірів;  
 $x_i$  – результати окремих вимірів, мм;

б) середня квадратична помилка окремих вимірів

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (5)$$

в) межа інтервалу вимірної величини

$$\Delta x = \bar{x} \pm t_{\alpha,n} \frac{S_n}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

де  $\alpha_n$  – коефіцієнт подібності;  
 $t_{\alpha,n}$  – критерій Стьюдента, при  $n=5$ ;  $\alpha_n=0,95$ ;  
 $t_{\alpha,n}=2,78$  [7].

За результатами обробки експериментальних досліджень будуємо графік залежності зносостійкості дослідних зразків.

Математична обробка лінійної інтенсивності зносу нарощених зразків і еталонного зразка дозволяє порівняти інтенсивність зносу зразків, поверхні яких зміцнені тим чи іншим способом.

### Висновки і перспективи роботи в даному напрямку

У запропонованій статті автор розглянув питання модельних експресних випробовувань на зношування зразків при зворотньо-поступальному русі на універсальній машині тертя. Запропоновано оригінальну конструкцію одного з контртіл, що дозволяє найбільш точно імітувати реальні умови роботи пари «шток-ущільнення» при попаданні під ущільнення абразивних зерен і подальшого проникнення і закріплення останніх в гумі манжети. Подальшою роботою в даному напрямку є порівняльні дослідження на зносостійкість поверхонь штоків, отриманих певними технологічними методами з наступним вибором найбільш оптимальних способів зміцнення поверхонь штоків насосів високого тиску.

### Література

1 Зносостійкість виробів. Терміни та визначення: ДСТУ 2823:94. – [Чинний від 1996-01-01] – К.: Держстандарт України, 1995. – 30 с. – (Національний стандарт України).

2 Тематические научно-технические обзоры «Повышение долговечности тарельчатых клапанов и уплотнительных узлов буровых насосов» Серия машины и оборудование нефтяной промышленности. – М.: ВНИИ ОЭНГ, 1973. – 91 с.

3 Литвинов В.М. Стенд-приставка для испытания износостойкости уплотнения штоков гидромашин / В.М. Литвинов, Г.М. Пожарнов // Машины и нефтяное оборудование. – М. – 1983. – № 2. – С. 9 – 10.

4 Мкртычан Я.С. Повышение эффективности эксплуатации буровых насосных установок / Мкртычан Я.С. – М.: Недра, 1984. – 207 с.

5 Пат. на корисну модель № 34522 Україна, МПК (2006) G01N 3/56. Спосіб випробування матеріалів на знос / Я.М. Дрогомирецький, І.М. Богатчук, І.Б. Прунько, Ю.І. Богатчук. – u200804166; Заявлено 02.04.2008; Опубліковано 11.08.2008, Бюл. № 15. – 3 с.

6 Машина для испытания материалов на трение 2168 УМТ. Паспорт Го2.779.026ПС. – Иваново: ПО «Точприбор», 1990. – 177с.

7 Исследование комплексно-дифференцированного влияния основных режимов на трение и износ металло-полимерных сопряжений / [Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И., Рассохин Г.И.] // Применение новых материалов в сельскохозяйственном машиностроении. – Ростов-на-Дону, 1975. – С. 116 – 125.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
23.04.14

Рекомендована до друку  
професором **Петриною Ю.Д.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук **Пилипченком О.В.**  
(ТзОВ Міжгалузовий науково-виробничий центр  
«Епсілон ЛТД», м. Івано-Франківськ)